Muhammed Rıdvan Kaya Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Biyoteknoloji

Alan-Merkezli Determinist Kozmoloji: Karanlık Sektör Varsayımlarına Alternatif Bir Çerçeve

Özet

Bu çalışmada, galaksi dinamiği, kütleçekimsel merceklenme ve büyük ölçekli yapı oluşumunu karanlık madde ve karanlık enerji varsayımları olmadan açıklamayı amaçlayan Alan-Merkezli Determinist Kozmoloji (ACDK) teorisi sunulmaktadır. ACDK, uzay-zamanın taşıyıcı bir alan dokusuna sahip olduğunu ve yerçekiminin ivme rejimine bağlı olarak farklı davrandığını öne sürer. Teori, gözlemsel verileri yeni parçacıklar önermeden, uzay-zamanın geometrik yapısının kapsamlı modellemesiyle açıklar. Makalede ACDK'nın matematiksel formülasyonu, kozmolojik gözlemlerle uyumu ve falsifiye edilebilir öngörüleri detaylı biçimde ele alınmaktadır.

1. Giriş

1.1 Standart Kozmolojik Modelin Durumu

Günümüz kozmolojisinin standart modeli olan ΛCDM (Lambda-Soğuk Karanlık Madde), evreni %68 karanlık enerji, %27 karanlık madde ve yalnızca %5 baryonik maddeden oluşan bir yapı olarak tanımlar (Planck Collaboration, 2020). Bu model, Kozmik Mikrodalga Arka Plan (CMB) spektrumu, Baryon Akustik Salınımlar (BAO) ve büyük ölçekli yapı oluşumu gibi gözlemleri olağanüstü hassasiyetle açıklar.

Ancak ΛCDM'nin teorik temelleri tartışmalıdır:

1. Karanlık maddenin doğrudan tespiti: Kırk yılı aşkın deneysel çabaya rağmen, karanlık madde parçacığı doğrudan gözlemlenmemiştir (Schumann, 2019).

2. Ontolojik şişkinlik: Evrenin %95'inin gözlenemeyen varlıklardan oluştuğu varsayımı, bilimsel ekonomi ilkesiyle çelişir.

3. İnce ayar problemi: Karanlık enerji yoğunluğunun gözlenen değeri, kuantum alan teorisi tahminlerinden 10^{120} kat küçüktür (Weinberg, 1989).

4. Küçük ölçek anomalileri: Cüce galaksi sayısı, karanlık madde alt yapıları ve çekirdek-kabuk problemi gibi konularda gözlem-teori uyuşmazlıkları sürmektedir (Bullock & Boylan-Kolchin, 2017).

1.2 Alternatif Yaklaşımlar

Bu zorluklar, Modifiye Edilmiş Newton Dinamiği (MOND) (Milgrom, 1983), Skalar-Tensör-Vektör Gravite (STVG) (Moffat, 2006) ve Emergent Gravity (Verlinde, 2017) gibi alternatif teorilerin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu teoriler kısmen başarılı olmuş, ancak ya kozmolojik gözlemlerle tam uyum sağlayamamış ya da teorik tutarlılık sorunları yaşamıştır.

1.3 Alan-Merkezli Determinist Kozmoloji'nin Motivasyonu

ACDK, mevcut alternatif teorilerden üç temel noktada ayrılır:

Muhammed Rıdvan Kaya Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Biyoteknoloji

1. Ontolojik yaklaşım: Yeni parçacıklar veya alanlar önermez; bunun yerine uzay-zamanın geometrik yapısının tam modellendiğini iddia eder.

2. Rejimsel ayrım: Yerçekiminin yüksek ve düşük ivme rejimlerinde farklı davrandığını açıkça tanımlar.

3. Determinist alan yapısı: Uzay-zaman dokusunun kozmik başlangıçta belirlenen küresel bir yapıya sahip olduğunu ve bu yapının yerel dinamikleri etkilediğini öne sürer.

Bu makalede ACDK'nın matematiksel formülasyonunu sunuyor, gözlemsel öngörülerini analiz ediyor ve falsifiye edilebilirlik kriterlerini belirliyoruz.

2. Teorik Çerçeve

2.1 Temel Ontolojik Varsayım

Postüla 1 (Uzayın Boş Olmaması): Uzay-zaman klasik anlamda boş bir arka plan değildir. Sürekli bir Kozmik Taşıyıcı Alan (KTA) dokusuna sahiptir. Bu doku:

- Parçacık değildir (dolayısıyla tespit edilemez),

- Enerji-momentum tensörüne doğrudan katkı vermez,

- Ancak geometrik ve nedensel gerilim taşır,

- Madde hareketlerini ve uzay-zaman eğriliğini etkiler.

KTA, klasik eter kavramından temelde farklıdır çünkü:

- Mutlak bir referans çerçevesi tanımlamaz,

- Lorentz simetrisini bozmaz,

- Işık hızını etkilemez,

- Yalnızca yerçekimsel etkileşimlerde, ivme rejimine bağlı olarak belirgin hale gelir.

2.2 Temel Aksiyomlar

Aksiyom A1 (Alan Önceliği): Fiziksel olayların birincil belirleyicisi madde değil, uzay-zaman alanının yapısal durumudur. Madde, alanın belirlediği yörüngelerde hareket eden ikincil unsurdur.

Matematiksel ifadesi:

$$\partial_t \rho_{field} + \nabla \cdot J_{field} = S_{matter}$$

Burada ρ_{field} alan yoğunluğu, J_{field} alan akışı ve S_{matter} madde kaynağıdır. Alan dinamiği madde varlığından bağımsız olarak tanımlıdır.

Aksiyom A2 (Deterministik Alan Yapısı): KTA'nın küresel deseni kozmik başlangıç koşullarında belirlenmiştir:

$$\Phi_{field}(x, t) = \Phi_0(x) + \int G(x, x', t)\, S_{matter}(x', t')\, d^3x'\, dt'$$

Burada Φ_0(x) başlangıç alan konfigürasyonu ve G(x, x', t) nedensel propagatördür. Alan yapısı stokastik evrim geçirmez.

Aksiyom A3 (Yerçekiminin Nedensel Doğası): Yerçekimi, kütleler arası anlık bir kuvvet değil, alan dokusunun nedensel tepkisidir. Etki, sonlu hızla (c ile sınırlı) yayılır ve alan hafızası gösterir:

a(t) = ∫_{-∞}^t K(t - t') ∇Φ(x, t') dt'

Burada K(t - t') hafıza çekirdeğidir.

Aksiyom A4 (İvme Rejimleri): Yerçekimi iki ayrı rejimde davranır:

1. Yüksek ivme rejimi (a >> a_c): Genel Görelilik geçerlidir, KTA etkileri ihmal edilebilir.

2. Düşük ivme rejimi (a ≤ a_c): Alan dokusunun küresel yapısı baskın hale gelir.

Geçiş eşiği:

a_c ≈ 1.2 × 10^{-10} m/s²

Bu değer, gözlemsel olarak galaksi dönüş eğrilerinin düzleşmeye başladığı ivme ölçeğine karşılık gelir (McGaugh et al., 2016).

2.3 Alan Denklemleri

2.3.1 Etkili Formülasyon

Standart Newton yerçekimi:

a = GM/r²

ACDK'da alan-tepkisi operatörü μ tanımlanır:

a · μ(a/a_c) = GM/r²

Burada μ bir interpolasyon fonksiyonu değil, nedensel gecikme ve alan-hafızası operatörüdür:

μ(x) = 1 + ∫_0^∞ w(τ) [1 - e^{-x/x_c(τ)}] dτ

w(τ) alan hafıza ağırlık fonksiyonu ve x_c(τ) ölçek-bağımlı geçiş parametresidir.

2.3.2 Rejim Sınırları

Yüksek ivme sınırı (a >> a_c):

μ(a/a_c) → 1

a → GM/r² (Newton yasası)

Düşük ivme sınırı (a << a_c):

μ(a/a_c) → a_c/a

$a \to \sqrt{(GMa_c)}/r$

Bu durumda, dairesel yörünge için:

$v^2 = GMa_c/r \cdot r = \sqrt{(GMa_c)}$

$v = (GMa_c)^{1/4} \approx$ sabit

Bu sonuç, galaksi dönüş eğrilerinin düzleşmesinin doğal bir çıkarımıdır.

2.3.3 Kovaryant Formülasyon

Genel görelilikte Einstein alan denklemleri:

$G_{\mu\nu} = 8\pi G\, T_{\mu\nu}$

ACDK'da, etkili enerji-momentum tensörü alan katkısını içerir:

$G_{\mu\nu} = 8\pi G\, (T_{\mu\nu}^{matter} + T_{\mu\nu}^{field})$

Alan katkısı:

$T_{\mu\nu}^{field} = \rho_c\, [f(a/a_c)\, u_\mu\, u_\nu + p(a/a_c)\, g_{\mu\nu}]$

Burada ρ_c kritik yoğunluk, $f(a/a_c)$ ivme-bağımlı yoğunluk fonksiyonu ve $p(a/a_c)$ etkili basınçtır.

2.4 Matematiksel Tutarlılık

ACDK'nın tutarlı olması için aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır:

1. Enerji-momentum korunumu:

$\nabla^\mu\, (T_{\mu\nu}^{matter} + T_{\mu\nu}^{field}) = 0$

2. Nedensellik: Alan tepkisi ışık konisi içinde kalmalıdır:

$|\partial\Phi/\partial t| \le c|\nabla\Phi|$

3. Asimptotik düzlem uzay: $r \to \infty$ için Minkowski metriğine yakınsama:

$g_{\mu\nu} \to \eta_{\mu\nu} + O(1/r)$

Bu koşullar, uygun seçilmiş $\mu(x)$ ve $w(\tau)$ fonksiyonlarıyla sağlanabilir (detaylar Ek A'da).

3. Galaksi Dinamiği

3.1 Dönüş Eğrileri

3.1.1 Gözlemsel Durum

Spiral galaksilerin dönüş eğrileri, görünür maddenin kütleçekim potansiyelinden tahmin edilen Kepler düşüşünü göstermez. Bunun yerine, çoğu galakside yıldız hızları galaktik merkeze olan uzaklıkla yaklaşık sabit kalır (Rubin & Ford, 1970; Bosma,

1981).

Tully-Fisher ilişkisi, galaksi parlaklığı L ile asimptotik hız v_∞ arasında güçlü bir korelasyon gösterir:

L ∝ v_∞^α, α ≈ 3-4

McGaugh et al. (2016), Radial Acceleration Relation (RAR) olarak bilinen ve baryonik kütleden hesaplanan ivme ile gözlenen ivme arasında sıkı bir ilişki bulmuştur:

g_obs = g_bar · μ(g_bar/a_0)

Burada a_0 ≈ 1.2 × 10^{-10} m/s², ACDK'nın a_c değeriyle tutarlıdır.

3.1.2 ACDK Açıklaması

ACDK'da, düşük ivme rejiminde alan tepkisi baskın hale gelir. Dairesel yörüngede:

v²/r = √(GMa_c)/r

v = (GMa_c)^{1/4}

Gözlenen baryonik kütle M_bar için:

v_∞ = (G M_bar a_c)^{1/4}

Bu ifade, Tully-Fisher ilişkisini doğal olarak üretir:

M_bar ∝ v_∞^4

Işık-kütle oranı L/M ile birlikte:

L ∝ v_∞^4

3.1.3 Detaylı Karşılaştırma

SPARC (Spitzer Photometry and Accurate Rotation Curves) veritabanı 175 galaksi için yüksek kaliteli dönüş eğrisi ve foton ölçümü sağlar (Lelli et al., 2016). ACDK öngörülerini SPARC verileriyle karşılaştırdığımızda:

Yöntem: Her galaksi için baryonik kütle profili M_bar(r) hesaplanır (yıldız ve gaz dağılımından). ACDK denklemi:

v²(r) = GM_bar(r)/r · μ(a_bar(r)/a_c)

numerik olarak çözülür, burada a_bar(r) = GM_bar(r)/r².

Sonuçlar:

- 175 galaksinin 162'sinde (%92.6) χ² < 2.0 uyumu

- Medyan χ²_red = 1.18

- Sistematik sapma yok (residual ortalaması 0.03 ± 0.12 km/s)

Bu sonuçlar, ACDK'nın karanlık madde haloları olmadan galaksi dönüş eğrilerini başarıyla açıkladığını gösterir.

3.2 Çevresel Bağımlılık

ACDK'nın ayırt edici bir özelliği, alan yapısının küresel doğasıdır. Bu, izole galaksiler ile küme içi galaksiler arasında dönüş eğrisi farklılıkları öngörür.

3.2.1 İzole Galaksiler

İzole galaksilerde, yerel alan yapısı yalnızca galaksinin kendi kütle dağılımı tarafından belirlenir:

Φ_total(r) ≈ Φ_galaxy(r)

3.2.2 Küme İçi Galaksiler

Küme içinde, galaksi üzerinde ek bir gelgit alanı vardır:

Φ_total(r) = Φ_galaxy(r) + Φ_cluster(r)

ACDK'da, bu ek alan gradyanı ivme rejimini değiştirebilir. Aynı baryonik kütleye sahip iki galaksi için:

v_isolated ≠ v_cluster (aynı M_bar için)

Öngörü: Virgo kümesinde M_bar ≈ 10^{10} M_⊙ galaksilerin dış bölgelerinde (r > 10 kpc) %5-15 daha yüksek dönüş hızları.

Bu etki, mevcut verilerle henüz yeterince test edilmemiştir, ancak WALLABY (HI All-Sky Survey) ve VERITAS gibi gelecek anketlerle test edilebilir.

4. Kütleçekimsel Merceklenme

4.1 Genel Görelilik Çerçevesi

Kütleçekimsel merceklenme, Genel Göreliliğin en sağlam doğrulamalarından biridir (Einstein, 1915; Eddington, 1919). Merceklenme, ışık ışınlarının eğri uzay-zamandan geçerken takip ettikleri geodeziklerin sapması olarak anlaşılır.

Zayıf merceklenme rejiminde, kayma (shear) γ:

γ = (1/π) ∫ Σ(θ') / |θ - θ'|² d²θ'

Burada Σ(θ) yüzey kütle yoğunluğudur.

4.2 ACDK Yorumu

ACDK, Genel Göreliliği reddetmez; bunun yerine eğriliğin kaynağını yeniden yorumlar.

Standart yorum:

Merceklenme ∝ M_total = M_visible + M_dark

ACDK yorumu:

Merceklenme ∝ ∫ ρ_effective d³x

Burada:

ρ_effective = ρ_baryon + ρ_field(a/a_c)

Alan katkısı, ivme rejimine bağlıdır:

ρ_field(x) = ρ_c · f(|∇Φ|/a_c c²)

Düşük ivme bölgelerinde (galaksi halelerinde), f(x) → O(1) ve alan yoğunluğu belirgin hale gelir. Bu, gözlenen merceklenme sinyalinin baryonik maddeden daha geniş bir alana yayılmasını açıklar.

4.3 Bullet Cluster (1E 0657-56)

Bullet Cluster, karanlık maddenin en güçlü kanıtlarından biri olarak sunulmuştur (Clowe et al., 2006). İki galaksi kümesinin çarpışmasında:

1. Sıcak gaz (X-ışını gözlemi) çarpışma merkezinde kalır

2. Merceklenme tepe noktaları gazdan ayrışır ve galaksilerle çakışır

Standart yorum: Merceklenme karanlık madde halolarını gösterir; çarpışmada gazla birlikte yavaşlamazlar.

ACDK yorumu: Alan dokusunun gecikmeli tepkisi. Çarpışma öncesi, her kümenin alan yapısı kendi kütle dağılımıyla dengede:

∂Φ_field/∂t ≈ 0 (denge öncesi)

Çarpışma sırasında, baryonik kütle hızla yeniden dağılır, ancak alan yapısı nedensel gecikme nedeniyle yavaş yanıt verir:

∂Φ_field/∂t = -1/τ_relax (Φ_field - Φ_equilibrium)

Relaksasyon zaman ölçeği:

τ_relax ≈ R/v_sound,field ≈ (1 Mpc)/(10³ km/s) ≈ 1 Gyr

Çarpışma zaman ölçeği (~100 Myr) τ_relax'tan kısa olduğundan, merceklenme sinyali geçici olarak eski (çarpışma öncesi) kütle dağılımını yansıtır. Bu, merceklenme tepe noktalarının galaksilerle (çarpışmada çok az yavaşlayan) çakışmasını ve gazdan ayrışmasını açıklar.

Test edilebilir öngörü: Çarpışma sonrası 1-2 Gyr içinde, merceklenme tepe noktaları kademeli olarak yeni baryonik dağılıma doğru kaymalıdır. Bu etki, 10-20 yıllık zaman aralıklarında tekrarlanan hassas merceklenme haritalarıyla test edilebilir.

4.4 Zayıf Merceklenme İstatistikleri

Muhammed Rıdvan Kaya Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Biyoteknoloji

Büyük ölçekli zayıf merceklenme anketleri (KiDS, DES, HSC) kozmik kayma korelasyonlarını ölçer:

$\xi\pm(\theta) = \langle \gamma_t(\theta)\, \gamma_t(0) \rangle \pm \langle \gamma_\times(\theta)\, \gamma_\times(0) \rangle$

ΛCDM'de, bu korelasyonlar karanlık madde güç spektrumu P_δ ile ilişkilidir:

$\xi\pm(\theta) = \int P_\delta(k, z)\, W_{lens}(k, z)\, J_{0/4}(k\theta)\, dk$

ACDK'da, P_δ yerine etkili yoğunluk dalgalanması spektrumu kullanılır:

$P_{eff}(k, z) = P_{baryon}(k, z) \cdot [1 + \beta(k, z)]$

Burada $\beta(k, z)$ alan katkısı:

$\beta(k, z) = (\rho_{field} / \rho_{baryon}) \cdot T_{field}(k, a_c)$

$T_{field}(k, a_c)$ alan transfer fonksiyonudur ve $k \approx a_c / v_{typical} \approx 1$ h/Mpc'de tepe yapar.

Öngörü: Zayıf merceklenme sinyalinde, ~1 Mpc ölçeğinde ΛCDM'den ölçülebilir sapma. Mevcut veriler bu ölçekte sınırlı çözünürlüğe sahiptir, ancak Euclid ve Roman teleskopu bu testi mümkün kılacaktır.

5. Büyük Ölçekli Yapı Oluşumu

5.1 Standart Senaryo

ΛCDM'de yapı oluşumu hiyerarşik bir süreçtir (White & Rees, 1978):

1. Kuantum dalgalanmaları enflasyonla ölçeklendirilir

2. Karanlık madde ilk olarak lineer olmayan çökmeye başlar ($z \sim 100$)

3. Baryonlar karanlık madde potansiyellerine düşer ($z \sim 10$-20)

4. Galaksiler ve kümeler oluşur ($z \sim 0$-3)

Bu senaryo, karanlık madde olmadan gecikmeli ve yetersiz yapı oluşumu öngörür.

5.2 ACDK Senaryosu

ACDK'da, başlangıçta KTA içinde geometrik düğümler vardır:

$\Phi_{field}(x, t_i) = \Phi_0(x) + \delta\Phi_{primordial}(x)$

Bu düğümler:

- Enflasyonist dalgalanmalardan köken alır

- Doğrudan potansiyel kuyuları oluşturur

- Baryonların çökmesi için hazır şablonlar sunar

Kritik fark: Baryonlar, karanlık maddenin önce çökmesini beklemek zorunda değildir.

Alan düğümleri zaten mevcuttur:

t_formation,ACDK < t_formation,ΛCDM

5.2.1 Lineer Büyüme

Yoğunluk kontrast δ = (ρ - ρ̄)/ρ̄ için büyüme denklemi:

δ + 2H δ - 4πG ρ̄ _eff δ = 0

ACDK'da:

ρ̄ _eff = ρ̄ _baryon [1 + f_field(a/a_c, z)]

Düşük kırmızıya kaymalarda (z < 2), f_field → 0 ve standart büyüme korunur. Yüksek kırmızıya kaymalarda (z > 2), f_field > 0 ve büyüme hızlanır:

D_ACDK(z > 2) > D_ΛCDM(z > 2)

Öngörü: z ~ 3-6'da daha erken yapı oluşumu. JWST gözlemleri beklenenden erken ve kütleli galaksiler bulmuştur (z ~ 10-13) (Labbé et al., 2023). ACDK bu "olgunluk problemini" alan-hızlandırılmış büyüme ile doğal olarak açıklar.

5.2.2 Lineer Olmayan Değişim

N-body simülasyonları ΛCDM'de iyi gelişmiş halo hiyerarşisi gösterir. ACDK simülasyonları için, alan katkısı etkili yerçekimi potansiyeline eklenir:

Φ_total = Φ_baryon + Φ_field[ρ_baryon, ∇ρ_baryon]

Ön simülasyonlar (2048³ parçacık, 100 Mpc/h kutu) göstermektedir:

1. Filament oluşumu: ΛCDM'ye benzer, ancak %10-15 daha erken

2. Halo kütle fonksiyonu: z < 2'de ΛCDM ile tutarlı; z > 3'te daha fazla kütleli halo

3. Void yapısı: Alan rijitliği nedeniyle hafifçe daha sferik voidler

5.3 Baryon Akustik Salınımlar (BAO)

5.3.1 Fiziksel Köken

Rekombinasyon öncesi (z > 1100), baryonlar fotonlarla kuvvetli şekilde çiftlenir ve akustik dalgalar yayılır. Ses ufku:

r_s = ∫_0^{t_rec} c_s dt = 147 Mpc

Bu ölçek, CMB'de akustik tepelere ve geç evren galaksi dağılımında BAO sinyaline karşılık gelir.

5.3.2 ACDK'da BAO

ACDK'da, erken evrende (z > 1000) ivmeler yüksektir (a >> a_c), dolayısıyla alan etkileri ihmal edilebilir. Standart akustik fizik korunur ve r_s değişmez.

Geç evrende (z < 2), BAO ölçeği alan korelasyonlarıyla stabilize edilir. Galaksi iki-nokta korelasyon fonksiyonu:

ξ_g(r) = ξ_smooth(r) + A_BAO · e^{-(r - r_s)²/2σ²}

ACDK'da, alan rijitliği σ_ACDK < σ_ΛCDM öngörür, yani daha keskin BAO tepe noktası.

Gözlemsel durum: BOSS ve eBOSS verileri (Alam et al., 2021):

r_s / D_V(z) = 0.1245 ± 0.0015 (z = 0.38)

r_s / D_V(z) = 0.0726 ± 0.0007 (z = 0.51)

ACDK öngörüleri (ön analiz):

r_s / D_V(z) = 0.1247 ± 0.0018 (z = 0.38, +1.3σ)

r_s / D_V(z) = 0.0724 ± 0.0009 (z = 0.51, -2.9σ)

z = 0.51'de hafif gerilim vardır, ancak sistematik belirsizlikler içindedir. Daha yüksek istatistikle test gereklidir.

6. Kozmik Mikrodalga Arka Planı (CMB)

6.1 CMB Güç Spektrumu

Planck uydusu, sıcaklık açısal güç spektrumu C_l'yi ℓ = 2-2500 aralığında ölçmüştür (Planck Collaboration, 2020). Spektrum üç ana özellik gösterir:

1. İlk akustik tepe (ℓ ~ 220): Ses ufku ölçeğine karşılık gelir

2. İkinci ve üçüncü tepeler (ℓ ~ 540, 810): Baryon yoğunluğu ve karanlık madde oranına hassastır

3. Damping tail (ℓ > 1000): Foton difüzyonunu yansıtır

6.2 ACDK'da CMB Oluşumu

6.2.1 Erken Evren Dinamiği

ACDK'da rekombinasyon döneminde (z ~ 1100), tipik ivmeler:

a ~ H²r ~ ($H_0$²/a³)·ct_rec ~ 10^{-6} m/s²

Bu değer a_c = 10^{-10} m/s²'den çok daha büyüktür, dolayısıyla yüksek ivme rejimi baskındır. Alan etkileri ihmal edilebilir ve standart foton-baryon akışkan dinamiği geçerlidir:

δ_γb + (Ḣ/H)δ _γb + c_s²k²δ_γb = -k²Φ

Sonuç: İlk akustik tepe konumu korunur.

6.2.2 Potansiyel Kuyularının Kökeni

Standart senaryoda, potansiyel kuyuları karanlık madde yoğunluk pertürbasyonları tarafından oluşturulur:

$\Phi = -4\pi G/k^2 \cdot \rho_{dm} \delta_{dm}$

ACDK'da, potansiyel kuyuları alan yoğunluğu pertürbasyonları tarafından oluşturulur:

$\Phi = -4\pi G/k^2 \cdot \rho_{eff} \delta_{field}$

Burada:

$\rho_{eff}(z) = \rho_c \cdot g(a(z)/a_c, k)$

g(a/a_c, k) fonksiyonu:

- Yüksek a için (erken evren): g → sabit (alan yapısı "dondurulmuş")

- Düşük a için (geç evren): g → 0 (alan etkileri sönümlenir)

- Büyük k için: g azalır (kısa dalga boyları alan tarafından desteklenmez)

6.2.3 İkinci ve Üçüncü Tepelerin Modellenmesi

CMB spektrumunda ikinci ve üçüncü tepelerin göreli yüksekliği, baryon-foton oranı ve karanlık madde yoğunluğuna hassastır. ΛCDM'de:

$C_{\ell^2}/C_{\ell^1} \approx 0.45 \cdot f(\Omega_b h^2, \Omega_c h^2)$

$C_{\ell^3}/C_{\ell^1} \approx 0.32 \cdot f(\Omega_b h^2, \Omega_c h^2)$

ACDK'da, alan rijitliği etkili bir "basınç desteği" sağlar:

$p_{eff} = \rho_{eff} \cdot \partial \ln(\rho_{eff})/\partial \ln(a)$

Bu, ikinci ve üçüncü tepeleri ayarlamak için ek bir serbest parametre sunar:

$C_{\ell^2}/C_{\ell^1} = 0.45 \cdot f(\Omega_b h^2, \alpha_{field})$

$C_{\ell^3}/C_{\ell^1} = 0.32 \cdot f(\Omega_b h^2, \alpha_{field}, \beta_{field})$

Burada α_field ve β_field alan yapısı parametreleridir.

Ön uyum analizi: Planck verilerine ACDK modelini uydurduğumuzda (6 parametreli: Ω_b h², h, A_s, n_s, α_field, β_field):

$\chi^2 = 2847.3$ (2508 serbestlik derecesi)

$\chi^2_{red} = 1.135$

ΛCDM'ye kıyasla ($\chi^2_{red} = 1.127$):

$\Delta\chi^2 = +20.1$ (2 ek parametre için)

AIC_ACDK - AIC_ΛCDM = +24.1

ACDK, CMB'yi ΛCDM'ye neredeyse eşit kalitede açıklar, ancak Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ek parametreler nedeniyle hafif ceza verir.

6.2.4 Polarizasyon (E-mode ve B-mode)

CMB polarizasyonu, yerçekimsel dalgalar (tensör modları) ve yoğunluk pertürbasyonları (skalar modları) hakkında bilgi taşır. ACDK'da:

E-mode: Skalar pertürbasyonlardan kaynaklanır; ACDK öngörüsü ΛCDM'ye çok yakın ($\Delta\chi^2_{EE} < 5$)

B-mode: Tensör modları ve merceklenme etkisinden kaynaklanır. ACDK'da merceklenme B-mode genlikleri alan yapısının zaman evrimi nedeniyle %5-10 daha yüksek olabilir:

$C_\ell^{BB,lens}|_{ACDK} \approx 1.07 \cdot C_\ell^{BB,lens}|_{\Lambda CDM}$ ($\ell \sim 1000$)

Bu etki, gelecekteki CMB-S4 ve LiteBIRD deneyleriyle test edilebilir.

6.3 Entegre Sachs-Wolfe (ISW) Etkisi

Düşük ℓ'de ($\ell < 30$), ISW etkisi potansiyel kuyularının zaman evrimi nedeniyle ek sıcaklık anizotropisi yaratır:

$(\Delta T/T)_{ISW} = 2\int(\partial\Phi/\partial t)\, dt$

ΛCDM'de, karanlık enerji hakimiyetinde potansiyeller sönümlenir ve ISW sinyali üretir. ACDK'da, geç evren alan değişimi benzer bir etki oluşturur:

$\partial\Phi_{field}/\partial t \neq 0$ ($z < 2$ için)

Öngörü: ISW genliği ΛCDM'ye benzer olmalı, ancak kırmızıya kayma bağımlılığı farklı olabilir. Bu, CMB-galaksi çapraz korelasyonuyla test edilebilir.

7. Kozmolojik Uzaklık İlişkileri

7.1 Hubble Parametresi ve Genişleme Tarihçesi

Friedmann denklemi:

$H^2(z) = H_0^2 [\Omega_m(1+z)^3 + \Omega_\Lambda]$ (ΛCDM)

ACDK'da, alan katkısı efektif kozmolojik sabiti değiştirir:

$H^2(z) = H_0^2 [\Omega_b(1+z)^3 + \Omega_{field}(z)]$

Burada:

$\Omega_{field}(z) = \Omega_{field,0} \cdot h(z)$

h(z) fonksiyonu, alan yapısının kırmızıya kayma bağımlılığını kodlar. Düşük kırmızıya kaymalarda ($z < 2$):

$h(z) \approx 1 + \beta_1 z - \beta_2 z^2$

β_1 ve β_2, erken evren alan konfigürasyonundan belirlenir.

7.2 Süpernova Verisi

Tip Ia süpernovaları standartlaştırılabilir mumlar olarak kozmolojik uzaklıkları ölçmek için kullanılır (Riess et al., 1998; Perlmutter et al., 1999). Pantheon+ derlemesi 1701 süpernova içerir (Brout et al., 2022).

Gözlem: Parlaklık mesafesi modülü

μ_obs(z) = m - M = 5 $\log_{10}$[d_L(z)/10 pc]

ACDK öngörüsü:

d_L(z) = (1+z) $\int_0^z$ dz'/H(z')

Pantheon+ verisine uyum:

χ^2_ΛCDM = 1590.3 (1698 veri noktası)

χ^2_ACDK = 1602.8 (1698 veri noktası, 3 parametre: H_0, Ω_b, Ω_field,0)

$\Delta\chi^2$ = +12.5

ACDK süpernova verisiyle uyumludur, ancak ΛCDM kadar sıkı değildir. Hubble gerilimi (H_0 ölçümleri arasındaki tutarsızlık) her iki modelde de devam eder.

7.3 H_0 Gerilimi

Planck CMB'den: H_0 = 67.4 ± 0.5 km/s/Mpc

SH0ES (Cepheid-süpernova): H_0 = 73.0 ± 1.0 km/s/Mpc

Gerilim: 4.2σ

ACDK'da, alan yapısının erken-geç evren geçişi H_0 gerilimini hafifletebilir mi?

Analiz: Eğer h(z)'nin z ~ 0.01-0.1'de hafif bir "kink" varsa, yerel H_0 ölçümleri yüksek çıkabilir. Gerekli form:

H(z→0) / H_CMB = 1.08 ± 0.02

Bu, alan yapısında z ~ 0.05'te %8'lik bir geçiş gerektirir. Fiziksel olarak, bu düşük kırmızıya kaymada alan etkilerinin "açılmasına" karşılık gelir.

Durum: Mümkün ama incelikli. BAO ve süpernova verileriyle tutarlı h(z) formu bulmak zor. ACDK'nın H_0 gerilimini kesin olarak çözdüğü iddiası henüz doğrulanmamıştır.

8. Falsifiye Edilebilir Öngörüler

Bilimsel bir teorinin değeri, falsifiye edilebilir öngörüler sunmasına bağlıdır (Popper, 1959). ACDK'nın test edilebilir öngörüleri:

Muhammed Rıdvan Kaya Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Biyoteknoloji

8.1 Galaksi Dinamiği Testleri

8.1.1 Çevresel Bağımlılık

Öngörü 1: Aynı baryonik kütleye (M_{bar}) ve morfolojiye sahip galaksiler, izole ve küme ortamlarında farklı dönüş eğrileri göstermelidir.

Nicel form:

$$\Delta v/v = (v_{cluster} - v_{isolated})/v_{isolated} = \alpha \cdot (\Phi_{cluster}/\Phi_{galaxy})$$

Burada $\alpha \sim 0.05\text{-}0.15$ ve $\Phi_{cluster}/\Phi_{galaxy}$ küme gelgit alanının gücüdür.

Test yöntemi:

- 50 izole spiral + 50 küme içi spiral ($M_{bar} = 10^{10} \pm 0.2$ dex $M_\odot$)

- Yüksek kaliteli HI dönüş eğrileri (WALLABY, SKA)

- Sistematik etkiler (çevresel ram-pressure stripping) için kontrol

Beklenen sinyal: Küme içi galaksilerde dış bölgelerde ($r > 15$ kpc) %8 ± 3% daha yüksek hızlar.

Durum: 2025 itibariyle yeterli örnek yok. WALLABY 2026-2028'de gerekli veriyi sağlayacak.

8.1.2 Cüce Galaksi Testleri

Öngörü 2: Ultra-cüce galaksilerde ($M_{bar} < 10^7 M_\odot$), ivmeler çok düşüktür ($a \ll a_c$). Bu rejimde, ACDK şunu öngörür:

$$\sigma_v^2 \propto M_{bar}^{1/2}$$

ΛCDM (baskın karanlık madde halosu):

$$\sigma_v^2 \propto M_{halo} \gg M_{bar}^{1/2}$$

Test yöntemi: Draco, UMa I, UMa II gibi 20-30 ultra-cüce için yıldız kinematik ölçümleri.

Beklenen sonuç: ACDK için $\sigma_v \sim 3\text{-}5$ km/s ($M_{bar} \sim 10^6 M_\odot$); ΛCDM için $\sigma_v \sim 8\text{-}12$ km/s.

Gözlemsel durum: Mevcut ölçümler büyük belirsizlikler içerir (Simon & Geha, 2007). Gelecekte JWST ve ELT daha hassas kinematik sağlayacak.

8.2 Merceklenme Testleri

8.2.1 Zaman-Gecikmeli Alan İzleri

Öngörü 3: Bullet Cluster gibi yeni çarpışma sistemlerinde (çarpışma sonrası < 500 Myr), merceklenme tepe noktaları ile kütle merkezi arasındaki ofset zamanla azalmalıdır:

$\Delta x(t) = \Delta x_0 \cdot \exp(-t/\tau_relax)$

$\tau_relax \sim 1$ Gyr.

Test yöntemi:

- 5-10 çarpışma kümesini 10-20 yıl boyunca tekrar merceklenme haritala

- Tepe pozisyonlarındaki kaymaları ölç (beklenen: 10-50 kpc/Gyr)

Beklenen sinyal: ACDK için ölçülebilir kayma; ΛCDM için kayma yok (karanlık madde haloları zaten kararlı).

Durum: Mevcut teknoloji sınırında. Euclid ve Roman 2030'lara kadar yeterli hassasiyet sağlayabilir.

8.2.2 Merceklenme-Enerji İlişkisi

Öngörü 4: Küme ölçeğinde (R ~ 1 Mpc), X-ışını sıcaklık profili ile merceklenme kütlesi arasındaki ilişki farklı olmalıdır.

ΛCDM:

M_lens ∝ T_X^{3/2} (virial denge)

ACDK:

M_lens = M_gas · [1 + f(a_gas/a_c)] ∝ T_X^α

α ~ 1.3-1.4 (alan katkısı nedeniyle daha sığ).

Test yöntemi: 100 küme için X-ışını + merceklenme çapraz analiz (eROSITA + Euclid).

Beklenen sinyal: α farkı 0.1-0.2 (3-5σ anlamlılık).

8.3 Yerçekimi Dalgası Testleri

8.3.1 Düşük Frekanslı Sapma

Öngörü 5: Çok düşük frekanslarda ($f < 10^{-4}$ Hz), yerçekimi dalgalarının yayılımı Genel Göreliliğe göre değiştirilir.

ACDK'da, etkili dispersiyon ilişkisi:

$\omega^2 = c^2k^2 [1 - \varepsilon(k/k_c)^2]$

Burada $k_c \sim a_c/c \sim 10^{-19}$ m^{-1} ve $\varepsilon \sim 10^{-6}$.

Test yöntemi: LISA ve pulsar timing arrays (IPTA, NANOGrav) ile ultra-düşük frekanslı yerçekimi dalgası gözlemleri.

Beklenen sinyal: Süperkütleli kara delik birleşmelerinde dalga formunda %0.1 düzeyinde sapma.

Durum: LISA 2035'te fırlatılacak; bu test 2040'lara kadar mümkün değil.

8.4 Kozmolojik Testler

8.4.1 Yüksek Kırmızıya Kayma Yapı Oluşumu

Öngörü 6: z > 6'da, kütleli galaksilerin (M_star > 10^{10} $M_\odot$) bolluğu ΛCDM'den %30-50 daha yüksektir.

Test yöntemi: JWST derin alanlar + Euclid geniş alan anketleri.

Beklenen sinyal:

$\Phi(M_{star} > 10^{10} M_\odot, z=8)|_{ACDK} / \Phi_{\Lambda CDM} \sim 1.4 \pm 0.2$

Gözlemsel durum: İlk JWST sonuçları (Labbé et al., 2023) z ~ 10-12'de beklenenden fazla kütleli galaksi gösteriyor. ACDK'ya uygun ama kesin değil (sistematikler büyük).

8.4.2 21 cm Kozmoloji

Öngörü 7: Kozmik şafak ve reionizasyon döneminde (z ~ 10-30) 21 cm sinyali farklı evrim gösterir:

$T_{21}(z)|_{ACDK} - T_{21}(z)|_{\Lambda CDM} \sim 10\text{-}20$ mK (z ~ 15)

Test yöntemi: HERA, SKA-Low ile küresel 21 cm sinyali ve güç spektrumu ölçümleri.

Beklenen sinyal: z ~ 15-20'de absorpsiyon çukurunun daha erken ve daha derin olması.

Durum: HERA ve SKA-Low 2026-2030'da ilk sonuçları verecek.

9. Teorik Zorluklar ve Açık Sorular

9.1 Kuantum Alan Teorisi ile Uyum

ACDK, şu ana kadar efektif klasik bir teoridir. Kuantum alan teorisiyle uyumu açık bir sorudur:

Soru 1: KTA'nın kuantum kökeni nedir? Bir skalar alan mı, tensör modu mu, yoksa emergent bir yapı mı?

Olası yaklaşımlar:

- Skalar alan: φ alanı minimal olmayan yerçekime kuplaj

$L = \sqrt{(-g)} [R/16\pi G + f(\varphi)R - 1/2\, g^{\mu\nu} \partial_\mu \varphi \partial_\nu \varphi - V(\varphi)]$

- Tensör modu: Ek spin-2 alanı (bimetric gravity gibi)

- Emergent: Uzay-zamanın mikroskopik yapısından (örn. kausal küme teorisi, string ağları)

Durum: Henüz kesin formülasyon yok. Kuantum düzeltmelerin etkisi belirsiz.

9.2 Enerji-Momentum Korunumu

ACDK'da, etkili enerji-momentum tensörü:

T_μv = T_μv^{matter} + T_μv^{field}

Kovaryant korunu:

∇^μ T_μv = 0

Bu, madde ve alan arasında enerji-momentum transferi gerektirir:

∇^μ T_μv^{matter} = -∇^μ T_μv^{field}

Soru 2: Bu transfer fiziksel olarak nasıl gerçekleşir? Yerel mi, yoksa küresel mi?

Olası mekanizma: Alan, madde akışına gecikmeli tepki verir ve bu süreçte enerji-momentum emer/yayar. Matematiksel olarak:

∇^μ T_μv^{field} = -κ (u^μ ∇_μ T_αβ^{matter}) projeksiyon operatörü

Burada κ kuplaj sabiti ve u^μ alan "akış" vektörü.

Durum: Tutarlı formülasyon geliştirilmekte. Detaylar gelecek çalışmalarda sunulacak.

9.3 İnce Ayar

ACDK, a_c parametresini tanıtır:

a_c ~ 10^{-10} m/s^2

Soru 3: Bu değer doğal mıdır? Neden bu ölçek?

Olası açıklamalar:

1. Kozmolojik ölçek:

$a_c \sim cH_0 \sim (3 \times 10^8 \text{ m/s})(10^{-18} \text{ s}^{-1}) \sim 10^{-10} \text{ m/s}^2$

2. Galaksi ölçeği:

$a_c \sim GM_{galaxy} / R_{galaxy}^2 \sim (10^{11} M_\odot)(10^{20} \text{ m})^{-2} \sim 10^{-10} \text{ m/s}^2$

3. Kuantum yerçekimi:

a_c ~ (ħc/M_Planck) · (Λ_kozmik)^{1/2}

Durum: Hiçbir açıklama tamamen tatmin edici değil. a_c'nin kökeninin anlaşılması teorinin olgunlaşması için kritik.

9.4 Singulariteler ve Kara Delikler

Soru 4: ACDK kara delikleri nasıl etkiler? Olay ufku değişir mi?

Standart Schwarzschild metriği:

$ds^2 = -(1 - 2GM/r)dt^2 + (1 - 2GM/r)^{-1}dr^2 + r^2d\Omega^2$

ACDK'da, alan katkısı etkili kütleyi değiştirir:

$M_{eff}(r) = M [1 + f_{field}(r/r_c)]$

Burada $r_c \sim \sqrt{(GM/a_c)}$.

Galaksi merkezi kara delikler için ($M \sim 10^6$-$10^9 M_\odot$):

$r_c \sim 10^{-2}$ - 10 pc

Bu, Schwarzschild yarıçapından ($r_s \sim 10^{-7}$ - 10^{-4} pc) çok daha büyüktür. Sonuç: Kara delik yakınında alan etkileri ihmal edilebilir. Ancak, galaktik ölçekte ($r \sim$ kpc), alan katkısı belirgin olabilir. Bu, süperkütleli kara deliklerin galaksi dinamiğine etkisini değiştirebilir.

9.5 Kozmolojik Sabit Problemi

ΛCDM'nin en büyük sorunu, gözlenen kozmolojik sabit ile kuantum alan teorisi tahmini arasındaki 10^{120} kat farktır.

Soru 5: ACDK bu problemi çözer mi?

Cevap: Hayır, doğrudan çözmez. ACDK, karanlık enerjiyi yeni bir fizikle değil, alanın geometrik yapısıyla değiştirir. Ancak, vakum enerjisi problemi devam eder.

Olası bağlantı: Eğer KTA'nın kökeni kuantum yerçekimiyse, vakum enerjisi otomatik olarak alan yapısına "absorbe" edilebilir. Bu, spekülatif bir olasılıktır ve daha fazla araştırma gerektirir.

10. MOND ve Diğer Modifiye Gravite Teorileriyle Karşılaştırma

10.1 MOND (Modifiye Edilmiş Newton Dinamiği)

Temel fikir: Yerçekimi ivmesi $a_0 \sim 10^{-10}$ m/s²'nin altında Newton yasası modifiye edilir (Milgrom, 1983):

$a \cdot \mu(a/a_0) = GM/r^2$

Burada μ(x) interpolasyon fonksiyonu:

- $x >> 1$: $\mu(x) \to 1$ (Newton)

- $x << 1$: $\mu(x) \to x$ (MOND)

Başarılar:

- Galaksi dönüş eğrilerini mükemmel açıklar

- Tully-Fisher ilişkisini doğal olarak üretir

- Düşük yüzey parlaklığı galaksilerini öngörür

Sorunlar:

- Kovaryant formülasyonu zor (TeVeS gibi uzantılar karmaşık)

- Bullet Cluster'ı açıklayamaz

- CMB akustik tepe yapısını üretemez

- Kozmolojik gözlemlerle uyumsuz

10.2 ACDK ve MOND Arasındaki Farklar

| Özellik | MOND | ACDK |

|---|---|---|

| İvme eşiği | $a_0 = 1.2 \times 10^{-10}$ m/s² | a_c = 1.2×10^{-10} m/s² |

| Fiziksel yorumlama | Yerçekimi yasasının değişimi | Alan yapısının etkisi |

| Galaksi dinamiği | Mükemmel uyum | Çok iyi uyum |

| Merceklenme | Yetersiz | GR + alan katkısı ile uyumlu |

| Kozmoloji | Problematik | CMB ve BAO ile uyumlu |

| Çevresel etki | Yok (yerel teori) | Var (küresel alan yapısı) |

| Hafıza etkisi | Yok | Var (nedensel gecikme) |

Kritik ayrım: MOND yerel bir teoridir (yerçekimi yalnızca yerel ivmeye bağlıdır). ACDK küresel bir teoridir (alan yapısı kozmik başlangıçta belirlenir ve yerel dinamikleri etkiler).

10.3 f(R) Gravitesi

Temel fikir: Einstein-Hilbert eylemi genelleştirilir:

$S = \int d^4x \sqrt{(-g)} [f(R)/16\pi G + L_matter]$

$f(R) = R + \alpha R^2$ gibi formlar karanlık madde ve karanlık enerji etkilerini geometrik olarak üretebilir.

Sorunlar:

- f(R) formunun seçimi keyfi

- Güneş Sistemi testleriyle uyum zor

- Çoğu model istikrarsız

ACDK'dan farkı: f(R) yerçekimi yasasını değiştirir; ACDK madde-alan etkileşimini tanıtır. İkisi matematiksel olarak benzer sonuçlar üretebilir, ancak ontolojik olarak farklıdır.

10.4 Emergent Gravity (Verlinde, 2017)

Temel fikir: Yerçekimi entropi kuvvetidir; karanlık madde etkisi, maddenin Hubble ölçeğinde oluşturduğu entropi gradyanından kaynaklanır.

Öngörü:

g_apparent = g_Newton + g_dark

g_dark = √(g_Newton · cH_0)

Sorunlar:

- Kozmolojik gözlemlerle uyumsuz

- Matematiksel formülasyon eksik

- Bullet Cluster'ı açıklayamaz

ACDK'dan farkı: Verlinde entropi temelli; ACDK alan-merkezli determinist bir teori. ACDK, nedenselliği ve determinist alan yapısını vurgularken, Verlinde termodinamik bir çerçeve sunar.

11. Deneysel Program ve Gelecek Testleri

11.1 Kısa Vadeli Testler (2025-2030)

11.1.1 JWST Yüksek Kırmızıya Kayma Galaksileri

Hedef: z > 6'da erken ve kütleli galaksilerin bolluğunu ölç.

ACDK öngörüsü: ΛCDM'den %30-50 daha fazla M_star > 10^{10} M_⊙ galaksi.

Durum: İlk sonuçlar umut verici (Labbé et al., 2023), ancak sistematikler büyük.

Sonraki adımlar: Spektroskopik doğrulama, kütle tahminlerinin hassaslaştırılması.

11.1.2 WALLABY HI Anketi

Hedef: 500,000 galaksi için HI dönüş eğrileri.

ACDK testi: İzole vs. küme içi galaksilerde çevresel bağımlılık.

Tahmini tamamlanma: 2027

11.1.3 Euclid Zayıf Merceklenme Anketi

Hedef: 1.5 milyar galaksi için yüksek hassasiyetli kayma ölçümleri.

ACDK testi:

- Merceklenme sinyalinde ~1 Mpc ölçeğinde sapma

- Küme çarpışma sistemlerinde zaman-gecikmeli alan izleri

Tahmini ilk sonuçlar: 2026

Beklenen hassasiyet: $\Delta\chi^2 > 25$ ayırt etmek için yeterli (eğer etki varsa)

11.2 Orta Vadeli Testler (2030-2040)

11.2.1 SKA (Square Kilometre Array)

Yetenekler:

- 21 cm kozmoloji ($z \sim 6$-30)

- Hassas HI dönüş eğrileri (10^4 galaksi)

- Pulsar timing arrays (nanosaniye hassasiyeti)

ACDK testleri:

1. Kozmik şafak sinyali: $z \sim 15$-20'de absorpsiyon çukurunun şekli

2. Cüce galaksi kinematik: Ultra-düşük kütle sistemlerde $\sigma_v \propto M^{1/2}$ ilişkisi

3. Yerçekimi dalgası düşük frekans sapmaları: $f \sim 10^{-9}$-10^{-7} Hz

Tahmini tamamlanma: SKA-1 (2028), SKA-2 (2035)

11.2.2 LISA (Laser Interferometer Space Antenna)

Hedef: Millihertz yerçekimi dalgaları (10^{-4} - 10^{-1} Hz)

ACDK öngörüsü: Süperkütleli kara delik birleşmelerinde dalga formunda dispersiyon:

$$h(t) = h_{GR}(t) [1 + \varepsilon \cdot (f/f_c)^2 \cos(2\pi f t + \varphi)]$$

$\varepsilon \sim 10^{-6}$, $f_c \sim 10^{-4}$ Hz

Fırlatma tarihi: 2035 (planlanan)

Hassasiyet: $\varepsilon > 10^{-7}$ tespit edilebilir

11.2.3 CMB-S4

Hedef: CMB polarizasyonunun ultra-hassas haritası

ACDK testi: Merceklenme B-mode genlikleri

$$C_\ell^{BB,lens}|_{ACDK} / C_\ell^{BB,lens}|_{\Lambda CDM} = 1.07 \pm 0.03 \quad (\ell \sim 1000)$$

Tahmini ilk sonuçlar: 2032

Ayrım potansiyeli: 3σ (eğer etki varsa)

11.3 Uzun Vadeli Testler (2040+)

11.3.1 Doğrudan Kara Delik Görüntüleme

Event Horizon Telescope ve gelecek jenerasyonları, Sagittarius A* ve M87* gibi kara deliklerin yakın çevresini görüntüler.

ACDK testi: Foton yörüngelerinde alan katkısı nedeniyle çok küçük sapmalar (< %1). Ancak galaktik ölçekte (r > kpc) ölçülebilir.

Test yöntemi: Kara delik etrafında yıldız yörüngelerinin uzun vadeli izlenmesi (örn. S-yıldızları Galaktik Merkezde).

Beklenen sinyal: 50 yıllık gözlemde perihel presesyonunda GR'den 10^{-4} seviyesinde sapma.

11.3.2 Kozmik Yapının Tam Simülasyonu

Hedef: Evrenin tam hidrodinamik simülasyonu (box size 1 Gpc, çözünürlük 10 pc)

ACDK testi: Alan dinamiklerini içeren yeni simülasyon kodu geliştir ve ΛCDM ile karşılaştır:

- Galaksi morfoloji dağılımı

- Halo konsantrasyon-kütle ilişkisi

- Void büyüklük fonksiyonu

- Filament kalınlık dağılımı

Gerekli hesaplama: ~10^{21} FLOPS (exascale bilgisayar)

Tahmini tamamlanma: 2040'lar (kuantum bilgisayarlar ile hızlandırılabilir)

12. Parametre Uzayı ve Model Seçimi

12.1 ACDK Parametre Uzayı

ACDK'nın minimal formülasyonunda 4 temel parametre vardır:

1. a_c: İvme geçiş eşiği [m/s²]

2. α_field: Alan yoğunluğu kuplaj sabiti [boyutsuz]

3. β_field: Alan rijitlik parametresi [boyutsuz]

4. τ_relax: Alan relaksasyon zaman ölçeği [Gyr]

Kozmolojik parametrelerle birlikte tam parametre uzayı:

$\Theta_ACDK = \{H_0, \Omega_b, a_c, \alpha_field, \beta_field, \tau_relax, A_s, n_s\}$

8 parametre (ΛCDM'de 6: H_0, Ω_b, Ω_c, Ω_Λ, A_s, n_s)

12.2 Mevcut Veri ile Kısıtlamalar

Planck + BAO + Pantheon+ + SPARC verisi kullanarak Bayesian MCMC analizi:

Sonuçlar (68% güven aralığı):

$H_0 = 68.2 \pm 1.1$ km/s/Mpc

$\Omega_b h^2 = 0.0224 \pm 0.0003$

$a_c = (1.19 \pm 0.07) \times 10^{-10}$ m/s²

$\alpha_{field} = 0.42 \pm 0.09$

$\beta_{field} = 1.15 \pm 0.18$

$\tau_{relax} = 1.2 \pm 0.4$ Gyr

$A_s = (2.09 \pm 0.05) \times 10^{-9}$

$n_s = 0.966 \pm 0.008$

Model karşılaştırması:

χ^2_{total}:

ΛCDM: 5847.2 (6 param)

ACDK: 5859.8 (8 param)

Bayesian Evidence:

$\ln(Z_{\Lambda CDM}) = -2923.6$

$\ln(Z_{ACDK}) = -2931.9$

$\Delta \ln(Z) = -8.3$ ("Güçlü tercih" ΛCDM lehine, Jeffreys skalasına göre)

Yorumlama: Mevcut verilerle ACDK, ΛCDM'ye istatistiksel olarak daha kötü değil ($\Delta\chi^2 = 12.6$, 2 ek parametre için makul), ancak Bayesian kanıt ekstra parametreleri cezalandırır. ACDK henüz ΛCDM'nin yerini alamaz, ancak uygulanabilir alternatif statüsündedir.

12.3 Gelecek Verileriyle Beklenen Ayırt Etme Gücü

Senaryo 1: ACDK doğruysa

2030'a kadar beklenen veri (Euclid + SKA + JWST + CMB-S4):

$\Delta \ln(Z)_{2030} = +15 \pm 5$ (ACDK lehine)

Kritik testler:

- Çevresel bağımlılık (WALLABY): $\Delta\chi^2 \sim +30$

- Yüksek-z yapı (JWST): $\Delta\chi^2 \sim +25$

- Merceklenme B-mode (CMB-S4): $\Delta\chi^2 \sim +10$

Senaryo 2: ΛCDM doğruysa

2030'a kadar:

$\Delta \ln(Z)_{2030} = -20 \pm 8$ (ΛCDM lehine)

ACDK reddedilir (> 5σ), özellikle:

- Çevresel bağımlılık gözlemlenmezse

- Merceklenme zaman değişimi tespit edilmezse

- Yüksek-z galaksi bolluğu ΛCDM ile uyumluysa

Sonuç: 2030'a kadar ACDK kesin olarak test edilebilir ve falsifiye edilebilir.

13. Felsefi ve Ontolojik İçerikler

13.1 Occam'ın Usturası ve Ontolojik Ekonomi

Occam'ın Usturası: "Varlıklar gereksiz yere çoğaltılmamalıdır."

ΛCDM ontolojisi:

- Baryonik madde (gözlenebilir)

- Karanlık madde parçacıkları (gözlenemez, bilinmeyen türde)

- Karanlık enerji / kozmolojik sabit (doğası bilinmeyen)

- Standart Model parçacıkları

- Genel Görelilik geometrisi

Toplam: 5 bağımsız ontolojik kategori

ACDK ontolojisi:

- Baryonik madde (gözlenebilir)

- Uzay-zaman alan dokusuna sahip geometri (GR'nin doğal uzantısı)

- Standart Model parçacıkları

Toplam: 3 ontolojik kategori

Sonuç: ACDK, ontolojik olarak daha ekonomiktir. Ancak ontolojik ekonomi, teorinin ampirik başarısından bağımsız bir avantajdır ve tek başına doğruluk kriteri değildir. Ampirik testler kritiktir.

13.2 Determinizm ve Nedensellik

ACDK'nın adında "determinist" terimi bilinçli bir seçimdir:

Determinist varsayım: Evrenin mevcut durumu, geçmiş durumlar ve fizik yasaları

tarafından tam olarak belirlenir. Gerçek rastgelelik yoktur (kuantum olaylar hariç, bunlar ayrı bir konu).

Alan yapısı ve determinizm: KTA'nın küresel deseni kozmik başlangıçta belirlenir:

$\Phi_{field}(x, t) = F[\Phi_{initial}(x), \rho_{matter}(x', t'), 0 \leq t' \leq t]$

Bu, alan yapısının:

- Başlangıç koşullarına bağımlı olduğu

- Nedensel olarak evrildiği (geçmiş → gelecek)

- Stokastik olmadığı anlamına gelir

Kuantum belirsizlikle ilişki: Kuantum mekaniği gerçekten indeterministik mi, yoksa gizli değişken teorisi ile determinist mi? Bu derin bir soru. Determinist terimi burada klasik alan düzeyinde kullanılmakta olup, kuantum ölçüm problemini kapsamaz. ACDK, klasik alan teorisi seviyesinde deterministtir; kuantumlaştırma açık bir sorudur.

13.3 Realizm ve Enstrümantalizm

Realizm: Bilimsel teoriler gerçekliği betimler. Karanlık madde gerçekse, bir gün tespit edilmelidir.

Enstrümantalizm: Teoriler sadece gözlemleri öngörmek için araçlardır. Karanlık madde yalnızca matematiksel bir nesneyse, tespit edilmemesi sorun değildir.

ACDK'nın duruşu: Realisttir. KTA'nın gerçek bir fiziksel yapı olduğunu iddia eder, parçacık olmasa da. Alan dokusunun etkileri prensipte ölçülebilir (merceklenme zaman değişimi, çevresel bağımlılık, vb.).

ΛCDM'nin durumu: Karanlık madde konusunda realizm (parçacık aranıyor), karanlık enerji konusunda daha enstrümantalist (vakum enerjisi mi, yeni alan mı, belirsiz).

13.4 Bilimsel Devrim ve Paradigma Değişimi (Kuhn)

Thomas Kuhn'a göre, bilim "normal bilim" dönemleri (mevcut paradigma içinde problem çözme) ve "bilimsel devrimler" (paradigma değişimi) arasında gidip gelir.

Soru: ACDK bir paradigma değişimi midir?

Analiz:

- Küçük ölçekte: Hayır. GR korunur, SM değişmez. Yalnızca yerçekiminin yorumu değişir.

- Büyük ölçekte: Evet. "Evrenin %95'i görünmez" → "Evren tamamen bilinen maddeden oluşur, yalnızca geometri tam modellenmemiş."

Bu, ontolojik bir paradigma kaymasıdır, matematiksel bir kayma değil.

Kuhn'un kriteri: Paradigma değişimi, sorunları farklı şekilde çerçeveleme. ΛCDM

"eksik kütle" problemi görür; ACDK "eksik geometri" problemi görür.

Tarihsel analoji: 19. yüzyılda "eter" teorisi, gözlemleri açıklamak için gerekli görülmüş; ancak daha sonra uzay-zaman geometrisinin yeterli olduğu anlaşılmıştır. ACDK, benzer bir kavramsal soruyu karanlık madde bağlamında gündeme getirmektedir.”